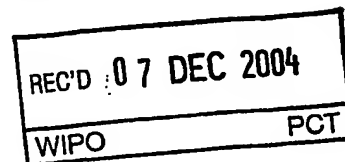


EP04/051635

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

103 55 388.6

**Anmeldetag:**

25. November 2003

**Anmelder/Inhaber:**

Continental Teves AG & Co oHG,  
60488 Frankfurt am Main/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zur Kalibrierung und Justage von  
elektromagnetisch ansteuerbaren Ventilen

**IPC:**

F 16 K 31/06

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 16. September 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**Ebert**

W. Jöckel

M. Heinz

A. Schmitz

C. Steinbach

### **Verfahren zur Kalibrierung und Justage von elektromagnetisch ansteuerbaren Ventilen**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß Oberbegriff von Anspruch 1.

Es ist bekannt, in ABS-Steuergeräten für Kraftfahrzeugbremsysteme, aber auch in sogenannten Fahrdynamikreglern mit zusätzlichen Funktionen wie ESP etc., elektromagnetisch ansteuerbare Ventile zur Regelung des Hydraulikdrucks einzusetzen.

Bei neueren Generationen von Hydraulikregelvorrichtungen werden sogenannte Analog/Digital-Ventile eingesetzt. Ein Analog/Digitalventil ist ein Schaltventil, welches so betrieben wird, dass analoge Regeleigenschaften besitzt. Dieses Ventil ist so konstruiert, dass es sowohl analog als auch digital betrieben werden kann.

Ein Verfahren zur Erkennung des Schaltpunktes des Ventils, insbesondere zur Bestimmung der Druckverhältnisse aus dem Stromverlauf des Ventilansteuerstromes geht aus der EP 0 813 481 B1 (P 7565) hervor.

Im Prinzip lässt sich der Druckgradient, den das Ventil aufbaut, über den Spulenstrom einstellen. Allerdings ist hierzu eine aufwendige Kalibrierung notwendig. Hierzu werden

- 2 -

bekanntlich, wie z.B. in der WO 01/98124 A1 (P 9896) beschrieben, Kennlinien für die Ventile ermittelt und in Abhängigkeit vom gewünschten Druckgradienten mit Hilfe der Kennlinien berechnete Sollströme eingestellt. Der Volumenstrom  $Q$  hängt demzufolge über die Kennlinie  $f$  vom Differenzstrom  $\Delta p$  und vom Strom  $I$  ab.

Die unveröffentlichte DE 103 21 783.5 (AT 14.5.03, P 10697, Gronau, Burkhard, Loos) beschreibt ein Lernverfahren für Ventilkennlinien von Analogventilen bzw. analogisierten Schaltventilen. Nach dem beschriebenen Verfahren wird eine Kalibrierung dieser Hydraulikventile vorgenommen, indem während des Betriebs der ABS-Bremsvorrichtung eine Ansteuerkennlinie oder entsprechende Korrekturgrößen zur Korrektur einer vorhandenen Ansteuerkennlinie ermittelt wird/werden. Die Kennlinien oder Korrekturgrößen für das Ventil werden mittels eines Lernverfahrens ermittelt. Das Lernverfahren kann sich über mehrere Zyklen der Blockierschutzregelung hinweg erstrecken. In jedem geeigneten Zyklus wird mit Hilfe der aus dem aktuellen Zyklus ermittelten Parameter nach einer rekursiven Formel eine genauere Kennlinie oder eine genauere Korrekturgröße ermittelt. Zur Berechnung der genaueren Kennlinie oder Korrekturgröße werden die während einer Radregelung benötigten Druckaufbauzeiten gesammelt. Dann werden jeweils auf Grundlage der vorliegenden gesammelten Druckaufbauzeiten korrigierte Kennlinie oder Korrekturgrößen berechnet. Speziell wird mittels des Lernverfahrens für ein Ventil eine Korrekturgröße  $k$  gebildet, welche mit einer vorgegebenen Ansteuerkennlinie des Ventils zur Bildung einer korrigierten Ansteuerkennlinie verknüpft wird. Die Korrekturgröße  $k$  wird gebildet nach einer geeigneten rekursiven mathematischen Formel.

- 3 -

Nach den bekannten Verfahren werden also, bei bekanntem (gemessenen) Differenzdruck, anhand von Gradientenkennlinien Spulenströme eingeprägt und damit der Druckgradient eingestellt.

Es hat sich gezeigt, dass dennoch die sich ergebenden Kennlinien eine unerwünschte Streuung aufweisen, so dass die Einstellung des gewünschten Druckgradienten nicht hinreichend genau erfolgen kann. Hierdurch wird das Regelverhalten des Gesamtsystems negativ beeinflusst. Eine Verbesserung ergibt sich zunächst einmal dadurch, dass für jedes eine Fertigungslinie verlassendes Steuergerät individuell eine Kalibrierung der Ventile vorgenommen wird. Hierzu werden insbesondere Kennlinien mittels einer geeigneten Messeinrichtung aufgenommen und geeignete Kalibrierdaten, die aus den diesen Kennlinien gewonnen werden, an einen mit dem Steuergerät verbundenen oder verbindbaren Regler, insbesondere an einen darin enthaltenen elektronischen Speicher, übertragen. Die Genauigkeit dieser an sich bekannten Kalibriermethode ist jedoch für moderne Kfz-Regelungen immer noch nicht genau genug.

Es hat sich nun gezeigt, dass die Ursachen für die verbleibenden Streuungen der Kennlinien bzw. insbesondere deren Gradienten rühren überwiegend von den Toleranzen der Mechanik, z.B. der schwankenden Federkraft, und des magnetischen Feldlinienkreises (Luftspalt etc.) herrühren. Obwohl bei der Fertigung der Ventile auf eine geringe Toleranz geachtet wird, sind für den hier durchzuführenden analogen Betrieb schon sehr geringe Toleranzen während der Fertigung für Abweichungen verantwortlich.

Es besteht daher die Aufgabe, eine genauere Ventilansteuerung bei der Ansteuerung von in Serie hergestellten Hydraulikventilen zu erreichen, um Fehler auf Grund verschiedenster mechanischer und magnetischer Toleranzen zu vermeiden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch das Verfahren gemäß Anspruch 1.

Eine Magnetventil kann beispielsweise unter anderem folgende mechanische und magnetische Toleranzen aufweisen:

- Krafttoleranzen der Rückstellfeder,
- Durchmesser-toleranzen des Ankers,
- Hydrodynamische Toleranzen der Strömungsgegebenheiten und
- Toleranzen des magnetischen Kreises etc.

Es hat sich nun gezeigt, daß die Toleranzen des Magnetkreises den größten Anteil der zu beseitigenden Durchflußtoleranzen ausmachen.

Nach der Erfindung wird nun eine mechanische Justage des Ventils vorgenommen. Demnach wird zum Beispiel die Einstellung der Ventile während der Fertigung des Ventils mechanisch vorgenommen. Es wird dabei durch Beobachtung der elektrischen Kenngröße (z.B. elektrischer Widerstand in der geschlossenen Position des Ventils) eine mechanische Kenngröße (z.B. der Restluftspalt) so lange verstellt (z.B. durch Verschieben des Ventilsitzes), bis die elektrische Kenngröße den gewünschten Wert aufweist.

- 5 -

In einem Ventil ist der magnetische Widerstand  $R_{\text{mag-ges}}$  bei konstanter magnetischer Durchflutung  $I \cdot N$  verantwortlich für den magnetischen Fluß, der sich im Ventil einstellt.

Die Kraft, die auf den Stößel wirkt, und damit den Durchfluß bestimmt, folgt der Beziehung

$$F_{\text{mag}} = \frac{1}{2 \cdot \mu_0 \cdot A} \cdot \Phi^2 \quad ,$$

der magnetische Fluß der Beziehung

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_{\text{mag-ges}}}$$

Hieraus ist zu erkennen, daß  $R_{\text{mag-ges}}$  umgekehrt quadratisch proportional in  $F_{\text{mag}}$  eingeht. Deshalb führen bereits geringe Änderungen von  $R_{\text{mag-ges}}$  zu großen Abweichungen des Durchflusses vom Sollwert (fester Spulenstrom).

Der magnetische Widerstand  $R_{\text{mag-ges}}$  setzt sich zusammen aus dem magnetischen Widerstand des Eisenkreises (konstant), dem magnetischen Widerstand der Luftspalte Rückschluß-Joch und Rückschluß-Anker (jeweils konstant), sowie dem magnetischen Widerstand des Restluftspaltes (konstant) und des Stößelhubs (veränderlich).

Nach der Erfindung wird eine mechanische Justage unter anderem durch Einstellung des obigen magnetischen Widerstandes vorgenommen.

- 6 -

Die vorteilhafte erfindungsgemäße Kombination von elektrischen Messungen während der Ventilmontage und im Regler hilft, die Toleranzen der Ventile deutlich zu verringern. Auf diese Weise wird außerdem gegenüber an sich bekannten Stromreglern die Regelgenauigkeit eines ABS-Steuergerätes verbessert.

Während der Ventilmontage wird also eine mechanische Justage durchgeführt. Bevorzugt wird der Restluftspalt und Stoßhub nicht mechanisch eingestellt, sondern es wird eine Einstellung über den magnetischen Widerstand bei geöffnetem und geschlossenem Ventil vorgenommen. Dabei ergibt sich vorteilhaft baureihenspezifisch immer der richtige Stoßhub und Restluftspalt.

Es hat sich nun überraschenderweise gezeigt, daß die mechanische Justage über eine elektrische Größe genauer ist als eine mechanische Justage über eine mechanische Messgröße.

Wenn der magnetische Widerstände bei jedem Ventil im wesentlichen gleich eingestellt wird, ergibt sich der Vorteil, daß sich bei festem Ventilstrom bei allen Ventilen der gleiche magnetische Fluß einstellt und damit die gleiche magnetische Kraft auf den Stoßel wirkt. Durch Einstellung des magnetischen Widerstands sowohl bei geöffnetem als auch bei geschlossenem Ventil wird gewährleistet, daß zum einen der Kraftgradient zwischen offenem und geschlossenem Ventil im wesentlichen identisch ist (dynamisches Verhalten) zum anderen auch die Induktivitäten von Ventil zu Ventil im wesentlichen gleich sind (gleicher Stromanstieg und damit Kräfteverlauf im dynamischen Verhalten). Dies ist besonders wichtig bei kurzen Ventilschaltzeiten.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird neben der weiter oben beschriebenen mechanischen Justage eine weitere elektrische Kalibrierung durchgeführt, bei der eine Messung der Induktivitätsänderung des magnetischen Kreises und/oder des magnetischen Widerstands bestimmt wird, wobei die Induktivitätsänderung/Widerstandsänderung während des Öffnens und/oder des Schließens des Ventils gemessen wird. Hierdurch kann zum Beispiel der Einfluss von Toleranzen der Eigenschaften der üblicherweise in einem Ventil vorhandenen Rückstellfeder weitestgehend beseitigt werden.

Mit dem elektrischen Kalibrierverfahren lässt sich die Federkraft der Ventile auch zu einem späteren Zeitpunkt nach der Fertigung, z.B. in einem in ein Kraftfahrzeug eingebauten elektrohydraulischen Steuergerät, ermitteln. Die gemessenen Abweichungen vom Sollwert dienen nach Durchführung der Messung zur Korrektur der Arbeitsströme (selbstkalibrierendes Verfahren). Durch Kombination der mechanischen Justage mit der elektrischen Kalibrierung kann eine ganz besonders genaue Übereinstimmung der Strom/Kraft-Kennlinie von verschiedenen Ventilen erreicht werden.

Gemäß der bevorzugten elektrischen Kalibrierung werden die erforderlichen Kennlinien zur Kalibrierung ohne die Verwendung von Druckbeaufschlagungen des Ventils ermittelt. Hierdurch entfällt beispielsweise die Druckbeaufschlagung während der Ermittlung der Kennlinien mittels einer pneumatischen oder hydraulischen Messanordnung, mit der gemäß dem Stand der Technik definierte Druckdifferenzen am zu messenden Ventil eingestellt werden. Hierdurch ergibt sich unter anderem der Vorteil, dass ein hergestelltes Ventil bzw. eine ganze Hydraulikeinheit nicht, wie dies



- 8 -

bisher erforderlich war, zur Beseitigung von Toleranzen der Rückstellfeder in einem Prüfstand individuell unter Verwendung von definierten Drücken ausgemessen werden muss. Es genügt nach dem Verfahren der Erfindung, dass eine elektronische Steuerung, die an das Ventil bzw. an die Hydraulikeinheit angeschlossen ist, die federbedingten Toleranzen des Ventils ausmisst. Aus diesen Daten werden dann die erforderlichen Kennlinien berechnet. Dieses Verfahren bietet weiterhin den Vorteil, dass das Verfahren beliebig oft, insbesondere in regelmäßigen Abständen auch nach dem Einbau in ein Fahrzeug selbstständig durchgeführt werden kann. Hierdurch ist es möglich, dass sich das System in regelmäßigen Abständen neu kalibriert. Auf diese Weise ist es außerdem erstmals möglich, auch Verschleißerscheinungen oder etwaige Veränderungen der Anordnung auf Grund von äußeren Einflüssen, die nach der Herstellung der Anordnung auftreten, zu berücksichtigen. Die Kennlinien können also ohne eine Messapparatur durch den Regler, auch zum Zeitpunkt nach dem Einbau in ein Fahrzeug, selbsttätig bestimmt werden. Hierdurch kann vorteilhaft ein zusätzlicher Datenübertragungsschritt von einer sonst erforderlichen Messanordnung zur Ermittlung der Kennlinien in das Steuergerät entfallen. Zum Einstellen des Durchflusses mit den ermittelten Kennlinien wird lediglich eine geschätzte oder gemessene Druckdifferenz am Ventil benötigt. Ist beispielsweise wie üblich ein Drucksensor im Bereich des Tandemhauptylinders vorhanden, kann der Differenzdruck auf übliche Weise aus dem Verlauf der druckbeeinflussenden Größen bestimmt werden.

Alternativ wäre es möglich, die Federkraft bereits während der Fertigung (z.B. in der Fabrik) elektrisch auszumessen (elektrische Kalibrierung) und die ermittelten

Kalibrierwerte für die einzelnen Ventile an ein elektronisches Steuergerät, welches die Ventile ansteuert, zu übertragen. Allerdings wären für diesen Zweck zum Beispiel kostenintensive Übertragungsmittel notwendig.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung der Figuren.

Nachfolgend wird die Erfindung an Hand von Beispielen näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Ventilkalibrierungsprozesses und

Fig. 2 den Aufbau eines erfindungsgemäß einsetzbaren Ventils.

Die Magnetventile werden in Fabrik 3 mechanisch justiert. Nach dem Einbau der Magnetventile in ein in einem Fahrzeug 1 angeordnetes elektronisches Bremsensteuergerät 2 werden die Ventile zusätzlich elektronisch kalibriert.

In Fig. 2 wird Anker 6 durch das Magnetfeld der Ventilschleife 9 bewegt. Anker 6 wirkt auf Stößel 5 mechanisch ein. Im Beispiel eines stromlos offenen Ventils (SO-Ventil) drückt Rückstellfeder 9 Stößel 5 in die geöffnete Stellung, wenn kein Magnetfeld vorhanden ist. Teilbild c) zeigt das Ventil in der geschlossenen Stellung mit bestromter Ventilschleife. Stößel 5 schließt dabei die Öffnung in Ventilsitz 4 ab. Anker 6 des dargestellten Ventils nähert sich beim Schließen

- 10 -

des Ventils Joch 7 an, berührt dieses jedoch nicht. Der verbleibende Zwischenraum zwischen Anker und Joch ist als Restluftspalt d bezeichnet. Der Restluftspalt kann beispielsweise durch eine Verschiebung von Ventilsitz 4 eingestellt werden. Dies erfolgt durch Betrachtung des magnetischen Widerstandes in der geschlossenen Ventilstellung. Bei vollständig geöffneten Ventil schlägt Anker 6 an Hülse 8 an. Der Weg zwischen vollständiger Schließstellung und vollständiger Öffnungsstellung wird als Stößelhub bezeichnet. Der Stößelhub lässt sich beispielsweise durch Verschiebung von Hülse 8 einstellen. Auch diese Einstellung wird über Betrachtung des magnetischen Widerstandes in der geöffneten Ventilstellung durchgeführt.

Die mechanisch justierten Ventile, welche in einem Ventilblock eingebaut sind, werden dann in ein Kraftfahrzeug eingebaut. Innerhalb des Kraftfahrzeug wird dann eine zusätzliche elektronische Kalibrierung durch Messung der Federkraft an Hand eines stromlos offenen Magnetventils durchgeführt:

Die Messung wird im drucklosen Zustand durchgeführt. Der Spulenstrom des Magnetventils wird schrittweise erhöht (jeweils mit Ein- und Ausschalten des Ventilstromes), bis sich der Anker zu bewegen anfängt. Das Bewegen des Ankers bewirkt ein Verkleinern des Luftspaltes und damit eine Änderung des magnetischen Widerstandes und somit auch der Induktivität L.

Physikalischer Zusammenhang:

- 11 -

$$L = \frac{N^2}{R_{mag}}$$

(N = Windungszahl,  $R_{mag}$  = magnetischer Widerstand)

Das Bewegen des Ankers vom offenen zum geschlossenen Zustand bewirkt eine Erhöhung der Induktivität vom offenen zum geschlossenen Ventil zirka um den Faktor 1.5. Diese Induktivitätserhöhung wird bestimmt und dem entsprechend angelegten Stromwert zugeordnet.

Die Induktivitätserhöhung kann durch ein Meßverfahren bestimmt werden, bei dem der Stromverlauf durch die Ventilschule über die Zeit beim Ein- oder Ausschalten des Stromes ( $\tau = L/R$ ) betrachtet wird. Hierzu sind vorteilhafterweise in an sich bekannten elektronischen Bremsensteuergeräten die erforderlichen Meßeinrichtungen bereits vorhanden.

Da bei allen Ventilen mittels der mechanischen Justage der magnetische Widerstand werksseitig gleich eingestellt wurde, läßt sich daraus der magnetische Fluß und somit die Kraft, die zum Bewegen des Ankers geführt hat, berechnen. Diese errechnete Kraft entspricht genau dem Arbeitspunkt der Feder. Die Federtoleranzen sind als konstanter Kraft-Offset zu betrachten, da nur sehr kleine Ventilhübe im Arbeitspunkt gefahren werden (Größenordnung: 30  $\mu\text{m}$ ...60  $\mu\text{m}$ ).

Die Abweichungen der Federkräfte vom Nominalwert werden also in jedem Regler in einer Kalibrieroutine ausgemessen und dann zur Korrektur der Ventilströme herangezogen.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur verbesserten Kalibrierung, insbesondere Fertigung, eines Analogventils oder analogisierten Schaltventils (10), welches eine elektromechanische Anordnung aus zumindest Ventilschule (9), beweglichem Anker (6) und Joch (7) aufweist, die mechanisch auf eine Ventilbetätigungseinrichtung (4,5,6) zum Öffnen und Schließen des Ventils einwirkt, wobei die Ventilbetätigungseinrichtung zumindest einen Stößel (5), eine Rückstellfeder (9) und einen Ventilsitz (4) umfasst, dadurch **gekennzeichnet**, dass die elektromagnetischen Eigenschaften des Ventils gemessen werden und diese elektromagnetischen Eigenschaften direkt zur mechanischen Justage des Ventils herangezogen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass der magnetische Widerstand bei vollständig geschlossenem Ventil durch mechanische Justage einer ersten mechanischen Kenngröße des Ventils, insbesondere durch Veränderung des Restluftspalts eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass der magnetische Widerstand bei vollständig geöffnetem Ventil durch mechanische Justage einer zweiten mechanischen Kenngröße, welche von der ersten mechanischen Kenngröße verschieden ist, eingestellt wird, wobei diese zweite mechanische Kenngröße insbesondere der Stößelhub ist.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden

- Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass neben der mechanischen Justage zusätzlich eine elektrische Kalibrierung des Ventils durchgeführt wird.
5. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Ventil in einem Hydraulikaggregat eines elektronischen Bremssystems, insbesondere für Kraftfahrzeuge (1), angeordnet ist, wo es insbesondere die Funktion eines Einlassventils hat.
  6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die mechanische Justage während des Fertigungsprozesses des Ventils durchgeführt wird.
  7. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die mechanische Justage außerhalb eines Objekts (1, 2) durchgeführt wird und nach Einbau des Ventils in das Objekt eine Kalibrierung innerhalb des Objekts, in dem das Ventil genutzt wird, durchgeführt wird, welche ebenfalls auf der Messung von elektromechanischen Eigenschaften beruht.
  8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass die elektrische Kalibrierung zum Beseitigen von Toleranzen in der Charakteristik der Rückstellfeder eingesetzt wird.
  9. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei der elektrischen

- 14 -

Kalibrierung die Federkraft über eine Messung der Induktivitätsänderung des magnetischen Kreises und/oder Änderung des magnetischen Widerstandes bestimmt wird, wobei die Induktivitätsänderung/Widerstandsänderung während des Öffnens und/oder des Schließens des Ventils gemessen wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Messung der Federkraft in einem drucklosen Ventilzustand durchgeführt wird.

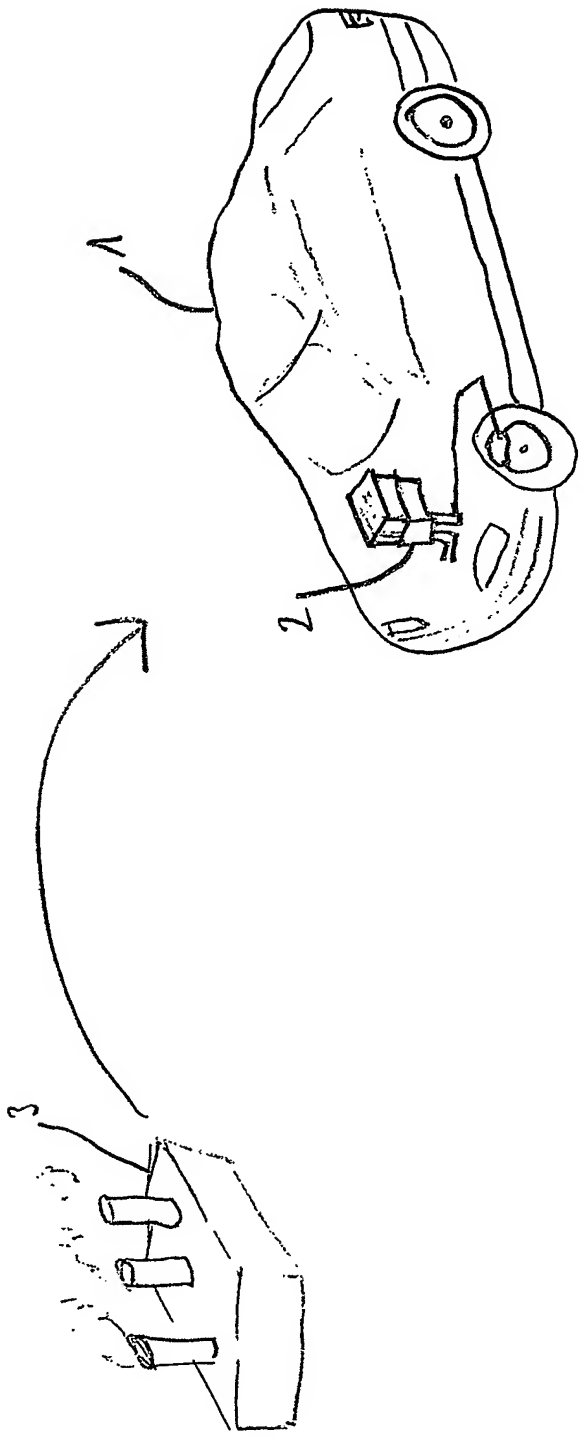
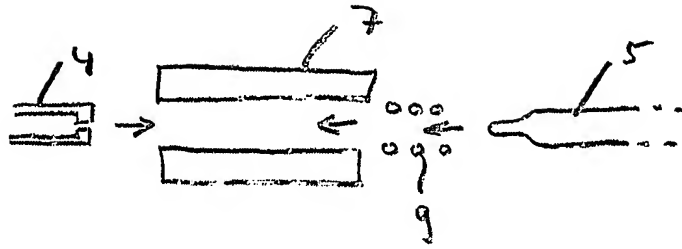
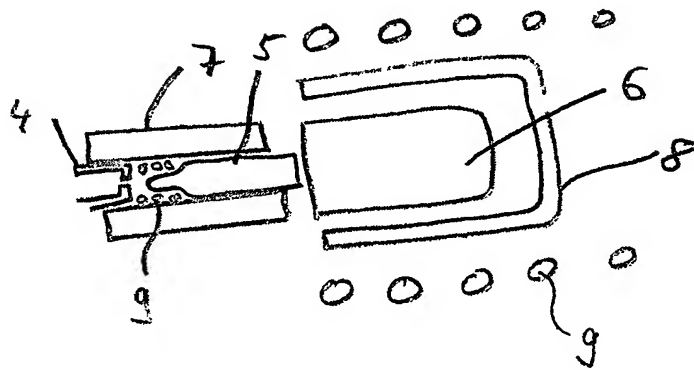


Fig. 1

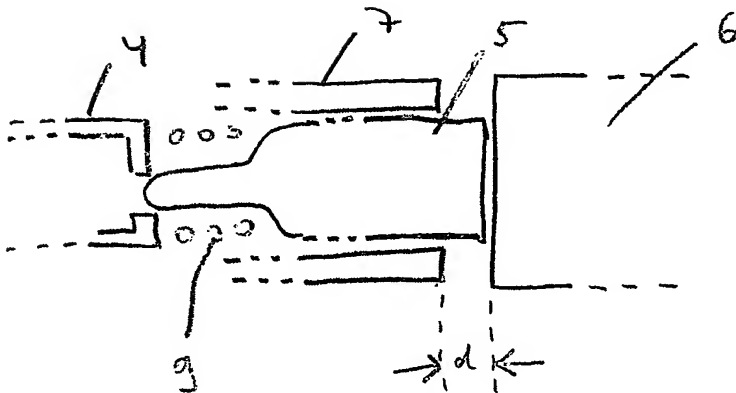




a)



b)



c)

Fig. 2